http://www.bisee.ac.cn　　E-mail: htqhjgc@126.com　　Tel: (010)68116407, 68116408, 68116544

GJB 150.3A 中高温试验程序剖析（二）：高温日循环数据的选用和标准应用分析

李 明[1]，彭雄伟[2]，祝耀昌[1]
（1. 中国航空综合技术研究所，北京 100028；2. 西安西测电子技术服务有限公司，西安 710119）

摘要：文章分两部分就 GJB 150.3A《军用装备实验室环境试验方法 第 3 部分：高温试验》中的高温日循环贮存和日循环工作，高温恒温贮存和恒温工作试验的环境、适用对象及其特点进行详细分析。第一部分着重介绍GJB 150.3A的各试验程序及其与GJB 150.3和MIL-STD-810C中各试验程序的关系；第二部分对GJB 150.3A提供的自然和诱发的温度日循环数据作为贮存或工作试验条件可应用于哪类设备作了说明，并对目前 GJB 150.3A 在型号工程应用中存在的一些疑问、误解和问题进行分析和说明，提出了指导性建议。

此为第二部分。

关键词：高温试验；温度日循环；恒定温度；试验程序；标准

中图分类号：V416.6　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1673-1379(2015)06-0607-05

DOI: 10.3969/j.issn.1673-1379.2015.06.007

Analysis of high temperature test procedures in GJB 150.3A: (Part II) Selection of high temperature diurnal cycle data and application of GJB 150.3A

Li Ming[1], Peng Xiongwei[2], Zhu Yaochang[1]
(1. China Aero-Polytechnology Establishment, Beijing 100028, China;
2. Xi’an XiCe Electronic Technology Service Co. Ltd., Xi’an 710119, China)

Abstract: Since the GJB 150.3A “Military Materiel Laboratory Environmental Test Methods: (Part 3) High Temperature Test” was enacted in 2009, in the applications of its high temperature diurnal cycle storage and operation, the constant temperature storage and operation test procedures, many questions remain to be cleared. This paper (in two parts) makes a detailed analysis of the simulated environment of these procedures, the applicable range and the characteristics. The first part is focused on the test procedures and their relationships with GJB 150.3 and MIL-STD-810C. The second part discusses the applicable range of storage and operation test procedure conditions based on the natural and induced temperature diurnal cycle data in GJB 150.3A. Some other questions, misunderstandings and problems in the engineering applications are also discussed in the second part with some guidance and advice. The following text is the second part.

Key words: high temperature test; diurnal cycling of temperature; constant temperature; test procedure; standards

0 引言

GJB 150.3A[1]在其表 1 中给出了世界“基本热”和“热”两类气候区的温、湿度日循环数据，每个气候区的温度数据包括自然环境空气温度日循环和太阳辐照诱发的空气温度日循环两类数据。这些数据与 810D/E/F/G[2-5]各版本中的数据是完全一致的，但 GJB 150.3A 和 810D/E/F/G 各版本都没有明确说明如何应用这两类数据；此外，GJB 150.3A 在型号研制过程中的应用实践也遇到了各种问题。本文对此展开讨论。

1 两类日循环数据的应用对象

有关 GJB 150.3A 中两类日循环数据适用的试验类型和应用对象见表 1。

收稿日期：2015-08-16；修回日期：2015-10-07

表1 GJB 150.3A高温试验的试验类型和应用对象

Table 1 The test types and applicable range of the high temperature tests described in the GJB 150.3A

试验程序	试验类型	试验条件	应用对象
程序I（贮存）	日循环贮存	诱发条件： 33～71 ℃（热区）， 30～63 ℃（基本热区）	安装在保护性壳体中或遮蔽物下面，直接经受太阳照射且不通风处的设备，包括地面固定、移动设备以及航空、兵器的飞机、装甲车等装备上的设备
		环境空气温度： 32～49 ℃（热区）， 30～43 ℃（基本热区）	不装在保护壳内，直接经受太阳照射且通风良好，太阳照射其内部关键部件不会引起很大升温的设备。否则，最好使用太阳辐照试验方法中的循环热效应试验程序 放置在不受阳光直接照射且通风良好处，环境空气温度即自然环境温度的设备
	恒温贮存	由实际环境实测结果确定	放置或安装在发电机、发动机、功耗大的电源等发热设备附近，周围空气温度大幅度上升高于环境空气温度，但在部分时间处于不工作状态的设备
程序II（工作）	日循环工作	环境空气温度： 32～49 ℃（热区）， 30～43 ℃（基本热区）	暴露于太阳直接照射下，但关键工作部件没有外壳，直接处于自然环境空气温度中，受到太阳照射不会诱发很大温升的地面固定设备。最好使用太阳辐射试验方法中的循环热效应试验程序 暴露于有遮护且通风的环境、环境温度相当于自然环境温度的设备
		诱发条件： 33～71 ℃（热区）， 30～63 ℃（基本热区）	直接暴露于阳光下而有外壳保护其内部，特别是关键部件附近空气会因太阳照射而升温的地面固定设备
	恒温工作	由平台环境造成的诱发条件，根据平台环境实测结果确定	安装于飞机、装甲车、坦克及导弹等装备上，其平台环境温度主要受平台工作中发动机、电机等发热产品和气动加热的影响，完全不取决于日循环和阳光照射的设备
		对日循环环境空气温度的响应温度，根据受试产品的测量获得	不适宜应用日循环进行工作试验的设备

1.1 高温贮存试验使用日循环温度数据的设备

1.1.1 暴露于太阳直接照射环境中的设备

该暴露可分为两类：一类是直接暴露于阳光照射下；第二类是装备在装运容器、保护性包装壳体和遮蔽物下，壳体和遮蔽物受太阳光直接照射。

1）第一类情况相对较少，因为大部分装备都会有保护性壳体。若装备没有壳体，而且在不工作状态其关键部件裸露在通风良好的自然环境空气中，不会诱发出更高的温度，则其经受的是自然环境空气温度。因此，就可用GJB 150.3A表1中环境空气温度日循环数据进行日循环贮存试验。

2）第二类由于内部几乎不通风或不通风，太阳照射对壳体和遮蔽物的加热会使其内部空气温度上升。典型情况包括不通风的罩壳、封闭的车体、飞机上有暴露于太阳辐射加热表面的舱段内、帐蓬内、密闭的帆布下等。处于这种位置中的装备在不工作状态就经受GJB150.3A表1中所述诱发环境高温，当然应该按照这种诱发环境温度数据进行日循环贮存试验。

1.1.2 暴露于有遮护且通风的环境中的设备

由于不受太阳直接照射，且通风情况良好，这种暴露不会产生太阳照射引起的温升。如，放在四面通风的大棚下，太阳阴影区打开的舱体中，甚至是位于飞机机身下太阳照不到的位置的设备（不工作状态），均可按GJB 150.3A的表1中环境空气温度日循环数据进行日循环贮存试验。

1.2 高温工作试验使用日循环数据的设备

GJB 150.3A中的高温工作试验也包括日循环试验，这一日循环试验应该使用GJB 150.3A表1中的什么数据？在标准中没有明确的说明。

1.2.1 暴露于太阳直接照射环境中的设备

1）地面户外固定设备

这种设备不论其处于工作状态还是不工作状态，都是直接暴露于太阳照射下。其又分2种情况：

①该设备没有壳体，其关键工作部件直接暴露于自然环境空气中并受阳光直接照射。由于没有壳体且通风情况良好，自然环境空气温度就是其工作

环境温度，所以可以采用 GJB 150.3A 表 1 中的环境空气温度进行高温工作日循环试验。考虑到太阳辐照会使其受照面有很大的温升，而背阴面则基本不升温，在这两面之间形成较大的温差，故可采用太阳辐射试验方法中的循环热效应试验。

②该设备有保护性金属壳体，则其内部特别是关键部件附近的空气温度会产生太阳辐照诱发的温升，故应当按 GJB 150.3A 表 1 中的诱发条件进行高温日循环工作试验。

2）地面移动平台上的设备和飞机机载设备等

对于这类设备，其工作状态环境温度主要取决于平台各种热源的影响，如发动机工作、发热设备运行、飞机表面气动加热、环境控制和冷却系统工作等，其附近的环境空气温度不再取决于日循环的影响，而是会达到某一最高温度。该温度应通过实测确定，不应使用 GJB 150.3A 表 1 中的日循环数据。

1.2.2　暴露于有遮护且通风的环境中的设备

这类设备的环境温度不会受太阳辐照诱发温升，因而应按照 GJB 150.3A 表 1 中的环境空气温度日循环条件进行高温工作试验。

1.3　日循环数据的剪裁和试验方式转换

鉴于不同装备及其不同的技术状态、实际传热方式与效率，或产品本身其他特性对环境温度的影响，应尽可能以 GJB 150.3A 表 1 中的温度日循环数据为基础进行推算，以设计出一个更为符合实际的温度条件及其日循环变化。

对于高温工作试验来说，如果不宜采用日循环温度试验，可以进行恒定温度试验，其试验温度应是按日循环得出的最高响应温度值或者是现场测得的最高温度值。

2　恒定温度数据及其应用对象

恒定温度数据是指某一局部场所或装备某一舱段的平台的微环境温度，这种温度与太阳辐照和自然环境温度无直接关系，通常是由直接测量获取，用于进行恒定温度贮存和工作试验。

有关恒定温度试验的试验温度和应用对象也参见表 1。

2.1　恒定温度贮存试验的温度

许多产品在不工作状态会经受其附近发热设备造成的高温环境，这种高温环境虽然会随发热设备工作模式变化而变化，但绝对不是按 24 h 的规律变化的，故而不是日循环。GJB 150.3A 中不要求模拟这种温度变化，而只要模拟该种环境中的最高温度，即进行恒定温度的高温贮存试验。

发热设备通常是指发动机、电动机和大功率电源模块等，这些设备一旦工作，会向周围散发出很多热量，造成其周围空气温度大幅度升高，安装或放置在其附近的设备在不工作状态和工作状态都将经受此高温环境的作用，因而要进行恒定温度的高温贮存试验。

2.2　恒定温度工作试验的温度

大部分军用装备上的设备均安装在装备内部，装备的作战时间是几小时而不是几天的日循环，其内部空气温度主要取决于内部发热设备、气动加热，以及环境控制和冷却系统等，而不受日变化温度影响。因此这些设备其经受环境温度的变化不是日循环，应采用恒定温度工作试验，具体温度值应经实测确定。

GJB 150.3A 中提出的高温日循环工作试验，主要适用于设备工作时其附近的空气温度与自然环境空气温度或太阳辐射诱发的空气温度基本一致的情况。但是，美军标明确说明，如果不方便模拟日循环温度环境，可以使用按其日循环测得的产品最高响应温度进行恒温工作试验。

3　在型号研制过程中应用 GJB 150.3A 遇到的问题和建议

按照新研产品使用新标准的原则，军工产品一些新研装备的高温试验已陆续开始应用 GJB 150.3A 中的试验程序。由于 GJB 150.3A 本身存在许多不够明确之处，而且是一个剪裁标准，人们对其理解不一，所以在使用中出现了一些问题，主要问题分析如下。

3.1　高温日循环贮存试验程序难以推广的问题

GJB 150.3A 规定的高温日循环贮存试验时间至少是 168 h，即 7 d，这一程序在军工产品设计定型或技术鉴定时占据试验设备的时间和试验工时太长，使得许多单位仍然倾向于继续采用 GJB 150.3[6]的试验程序 I，即在 70 ℃下保温 48 h。而这两种方法间的区别体现在日循环真实模拟和峰值加速模拟的不同：两者本质上均是模拟 1%时间风

险的温度，只是 GJB 150.3A 改为 1%风险日循环温度模拟更接近真实情况。

另外，GJB 150.3A 修订背景资料中对这一改变进行说明时提到：若按照 GJB 150.3A 进行试验，产品的研制成本会很高；因此，采用 GJB 150.3 的峰值加速模拟方法在当前型号研制经费少、进度紧的情况下，若经分析认为不会降低试验严酷度，一般应是可接受的。

3.2 高温日循环工作试验程序应用对象的问题

表 1 中介绍了适用于高温日循环工作试验的设备，其试验条件可以用诱发条件也可以用环境空气温度条件，具体取决于产品工作环境温度与哪种条件更接近。大多数军用装备均有金属外壳，其内部的设备在工作时的环境空气温度主要取决于平台工作中发热设备的发热量、气动加热以及环境控制和冷却系统等的影响，而自然环境空气温度日循环和太阳辐照诱发温度日循环对其影响相对很小，此时一般用从平台环境实际测得的最高温度进行恒定温度工作试验，没有必要考虑日循环。

3.3 不便于进行高温日循环工作试验的问题

高温日循环工作温度试验对有些设备不合适或难以实施，则可以用日循环的方法确定其最高响应温度，而后以此响应温度进行恒定高温工作试验，即不再进行高温日循环工作试验。

3.4 810G 方法中设置“战术备用工作”试验程序的必要性和应用问题

810F 的修订版 810G 增加了一个从高温贮存（不工作）立即转入高温工作的高温模拟试验，称为“战术备用工作”试验程序，这一程序的设置是十分必要的。许多装备中的设备在地面不工作状态经受太阳辐照诱发的高温一段时间后确实要立即转入工作状态。810G 中的该程序要求：首先将处于备用状态的受试产品在不工作（或贮存）温度下达到温度稳定后保持至少 2 h；然后以试验箱不小于 2 ℃/min 的速率降温至受试产品的高温工作温度，而且一旦试验箱指示仪表显示温度达到高温工作温度时就令受试产品立即开始工作，并要求其功能性能满足要求。这一做法实际上是要求受试产品在设计的高温工作温度以上就能正常工作相对较短的一段时间。因为试验箱的降温速率不能小于 2 ℃/min，而试验箱内空气温度和受试产品本身温度从不工作值降到工作值的速度必定比试验箱指示仪表所显示的降温速度要慢，所以受试产品实际上是在还没有下降到并稳定在高温工作温度以前就已开始工作。这种模拟方式与民机标准 RTCA/DO-160F[7]中专门安排的高温短时工作试验是相似的，其实质是通过一定的控制过程将恒定高温贮存和恒定高温工作试验连接起来。问题是 810F/G 和 GJB 150.3A 要求进行日循环高温贮存试验，甚至有可能接着进行日循环高温工作试验，这两个日循环试验如何用一个恒定温度试验连接起来？这在 810G 中没有给出具体的实施方法，故而试验条件的确定和试验的实施尚需进一步研究，并通过大量的试验确定其可行性。

4 GJB 150.3A 实施中存在的问题及分析

4.1 将高温日循环贮存试验改为 70 ℃下受试产品温度稳定后加上至少 2 h 的恒定温度贮存试验

这一做法是不合适的。因为 GJB 150.3A 的恒定高温贮存试验仅适用于放置或安装于发热设备附近的设备，不同于模拟太阳辐照诱发的高温贮存试验。此外，GJB 150.3A 的恒温贮存试验时间为受试产品达到温度稳定后加上至少 2 h，这与高温工作试验的持续时间一样，并不能揭示长期贮存于高温下的一些累积影响，如润滑油挥发、塑料件老化等问题。

4.2 将高温日循环工作试验用于批生产出厂验收检验

按照传统的方式，在批生产验收的逐件检验中，一般均安排高温工作试验、低温工作试验和振动试验，以尽快发现制造过程引入的缺陷，其基本思路类似于环境应力筛选。GJB 150.3A 标准中的高温工作试验采用日循环试验，而一些单位错误地把 3 个日循环的高温工作试验引入到批产品逐件检验中去，这不但会加长验收检验的时间，而且所施加的温度应力的响应温度远低于日循环中的峰值温度，不如恒温试验的严酷，检验效果可能也比恒温试验的差。实际上，验收检验使用的高温工作试验不必模拟真实应力，只是用高温尽快将制造缺陷激发为故障。当然，如果在验收检验的高温工作试验中使用恒定高温工作试验，就不会出现上述问题。

4.3　温度稳定时间和温度响应日循环数的确定不规范

GJB 150 和 GJB 150A 均规定，在高温试验的恒定温度试验中要测量关键功能部件处的温度，并以总则“通用要求”中有关温度稳定的定义判断受试产品是否达到温度稳定。但目前的型号实践中常常使用老式的重量法，或凭经验甚至盲目确定，未进行准确实测，会带来较大的不准确性。

按日循环进行高温贮存和高温工作试验时，需要确定受试产品的最高响应温度。GJB 150.3A 提出使用实测的方法确定，即当日循环中测得的受试产品最高响应温度与前一循环中测得的最高响应温度之差在 2 ℃以内时，则认为日循环已达到最高响应温度。由于用日循环方式进行高温贮存和工作试验的情况不多，且 GJB 150.3A 中明确规定日循环贮存和工作试验的循环数分别不少于 7 个(168 h)和 3 个(72 h)，所以，许多单位直接使用下限循环数，而并没有开展更细致的工作。这也是不够科学和严谨的。

4.4　恒定温度工作试验的持续时间沿用 GJB 150.3 规定

GJB 150.3A 将恒定温度工作试验的持续时间规定为受试产品达到温度稳定后再加上至少 2 h。这是因为测量并确定温度稳定时间的过程中，温度测量传感器的布局和数量等多种因素都会使测量结果代表性不足，对受试产品达到温度稳定的时间测量不可能很准确，所以要加上至少 2 h 的余量。这一规定虽然多少有些粗略，但能防止欠试验；而如果仍然沿用 GJB 150.3 的规定，则容易导致温度保持时间不足，造成欠试验。

4.5　不重视 GJB 150.3A 中有关布置传感器测量温度的规定

对于 GJB 150A 相对于 GJB 150 的变化，许多人主要关注试验条件的变化或确定方法，而忽略了新标准中一些关于试验方法方面的规定。例如：GJB 150.3A 规定，要在受试产品周围、受试产品内部和关键功能产品表面布置温度传感器来测量空气温度和产品温度。这项工作显然可以促使温度应力施加更准确，并掌握受试产品内部空气温度和响应温度，有利于故障分析和后续改进。但出于试验成本、试验操作的复杂度及工作量等方面的考虑，标准中的这一规定并未得到足够重视和有效执行。

5　结论

1）GJB 150.3A 试验程序设计的原则是真实模拟产品将实际遇到的环境温度及其日变化过程，因此标准给出了不同地区的环境空气温度和在壳体内由太阳辐照诱发的空气温度日循环数据，而不只考虑日循环温度中的峰值温度。即提倡日循环模拟，而不是极值模拟。

2）GJB 150.3A 表 1 中的环境空气温度日循环数据和诱发条件一栏下的温度日循环数据，可以用于高温贮存试验，也可以用于高温工作试验，具体要看产品不工作时和工作时实际经受的温度日循环属于哪一种。而这又取决于产品是直接暴露于太阳照射下，还是有遮护；直接暴露于太阳照射下的设备是否有外壳以及内部是否通风；不直接暴露于阳光照射下的设备周围通风是否良好；是地面固定设备，还是地面移动设备，或航空航天装备，等等。

3）GJB 150.3A 只强调对自然环境空气温度和太阳辐照诱发的空气温度日循环模拟，实际上，任何装备贮存和工作状态周围的空气温度都会由于种种原因在一定范围内有规律或无规律地变化。对这种情况，GJB 150.3A 只考虑模拟其适当的最高温度，进行恒定高温贮存和高温工作试验。

参考文献（References）

[1] GJB 150A—2009 军用装备实验室环境试验方法[S]

[2] MIL-STD-810D Environmental test methods and engineering guidelines[S], 1983

[3] MIL-STD-810E Environmental test methods and engineering guidelines[S], 1989

[4] MIL-STD-810F Environmental engineering considerations and laboratory tests[S], 2000

[5] MIL-STD-810G Environmental engineering considerations and laboratory tests[S], 2008

[6] GJB 150—1986 军用设备环境试验方法[S]

[7] RTCA/DO-160F Environmental conditons and test procedures for airborne equipment[S], 2007

（编辑：张艳艳）

作者简介：李 明(1982—)，男，博士学位，高级工程师，从事装备环境效应分析及环境试验技术研究。E-mail: liming_mse_buaa@163.com。